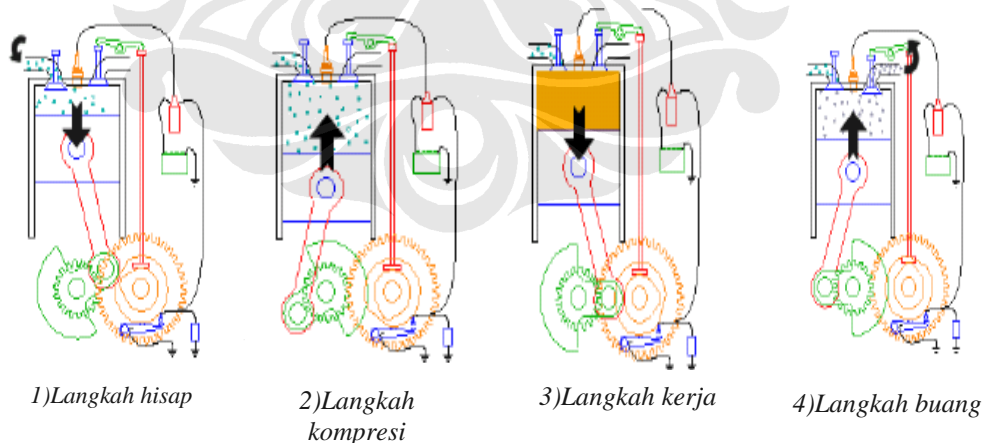


BAB 2 DASAR TEORI

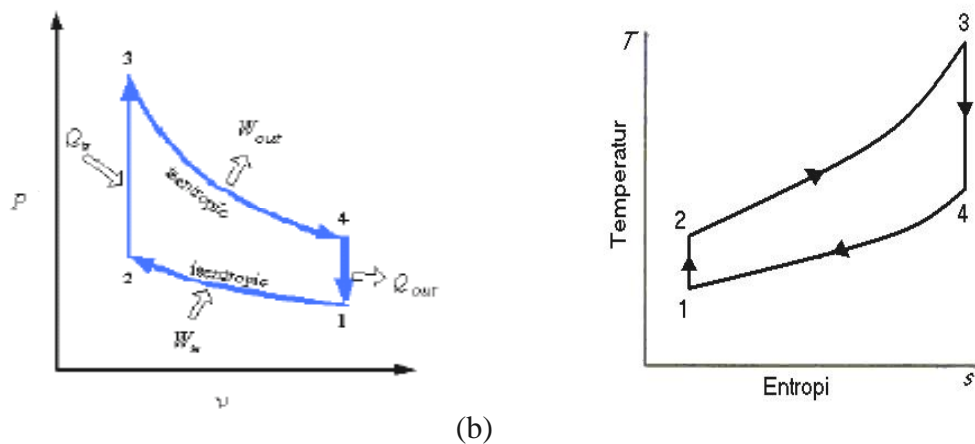
2.1. Motor Bakar Empat Langkah^[1].

Pada motor bakar berdasarkan sistem penyalanya terbagi *spark ignition* dan *compression ignition*. Dan berdasarkan siklus kerjanya terbagi menjadi empat langkah dan dua langkah. Sistem penyalan *spark ignition* (SI) merupakan metode penyalan bahan bakar dengan bantuan api dari luar. Penyalan ini menggunakan busi sebagai sumber api. Setelah campuran udara dan bahan bakar mencapai kompresi tertentu, dan dengan tekanan dan temperatur tertentu maka busi dinyalakan sehingga terjadi reaksi pembakaran dan menghasilkan tenaga untuk mendorong torak ke posisi semula. *Compression ignition* (CI) merupakan penyalan campuran bahan bakar dengan kalor kompresi yang sangat tinggi sehingga mencapai temperatur dan tekanan yang cukup tinggi yang memungkinkan terjadinya pembakaran sendiri yang akan menghasilkan tenaga untuk mendorong piston.

Adapun siklus otto yang terjadi pada motor bensin 4 langkah adalah sebagai berikut:



(a)



Gambar 2.1 Siklus motor bensin 4-langkah. (a) Gerak langkah piston., (b) Diagram P – V dan Diagram T-SI^[1].

- Proses 0–1 merupakan langkah hisap bahan bakar dimana piston mulai bergerak dari *TDC* (*top death centre*) menuju ke *BDC* (*bottom death centre*) dengan posisi katup hisap terbuka dan katup buang tertutup. Akibat dari langkah piston turun ini maka campuran bahan bakar dengan udara akan terhisap ke dalam ruang bakar.
- Proses 1–2 merupakan langkah kompresi dimana piston bergerak ke atas lagi menuju *TDC* setelah melakukan langkah hisap dengan posisi katup hisap dan katup buang tertutup. Langkah ini akan menaikkan tekanan pada ruang bakar yang terisi campuran bahan bakar dengan udara menjadi naik.
- Proses 2–3 merupakan proses pembakaran bahan bakar dimana proses ini terjadi sesaat sebelum akhir dari proses kompresi. Campuran bahan bakar dengan udara yang telah terkompresi mulai terbakar akibat percikan api yang ditimbulkan oleh busi yang terpasang di dinding silinder. Akibat proses pembakaran ini maka tekanan dan temperatur di ruang bakar menjadi naik tinggi.
- Proses 3 – 4 merupakan langkah kerja dari *engine* dimana piston akan bergerak menuju titik mati bawah akibat dari tekanan yang ditimbulkan proses pembakaran. Pada langkah ini posisi katup hisap dan katup buang

masih dalam kondisi tertutup. Selama proses ekspansi ini tekanan dan temperatur mulai turun.

Proses 4 – 0 merupakan langkah buang dimana pada akhir langkah kerja piston, katup buang terbuka dan katup hisap masih tertutup dan piston bergerak menuju ke *TDC* membuang gas pembaran keluar dari silinder.

2.2. Pembakaran pada Motor Bensin

Pada motor otto terjadi konversi energi dari energi panas ke energi mekanik yang berupa gerak *reciprocating* piston. Energi panas tersebut diperoleh dari pembakaran sejumlah bahan bakar yang telah bercampur dengan udara dengan diawali oleh percikan bunga api dari busi (*spark plug*). Pada proses tersebut terjadi reaksi kimia yang cepat antara hidrogen dan karbon pada bahan bakar dengan oksigen yang terkandung dalam udara. Sedangkan kondisi yang dibutuhkan pada proses pembakaran adalah :

- Adanya campuran yang dapat terbakar, pada *SI Engine* campuran yang siap terbakar dibentuk di dalam karburator.
- Adanya perlengkapan untuk memulai pembakaran, perlengkapan tersebut adalah busi (*spark plug*).
- Fase stabilisasi dan perambatan nyala di dalam ruang bakar.

Untuk itu ruang bakar harus mampu mengontrol pembakaran campuran udara-bahan bakar untuk mendapatkan :

- Tekanan maksimal pada awal langkah kompresi.
- Proses yang bebas vibrasi pada komponen *engine*.
- Proses yang tidak menimbulkan *knocking*.
- Pada pendinginan mengalami *losses* minimal.
- Emisi gas buang minimal

Proses pembakaran pada motor bensin umumnya dibagi dalam empat fase berdasarkan jumlah pelepasan energi hasil pembakaran, yaitu:

- Fase pencetusan bunga api.

Adalah fase dimana sejumlah energi panas dilepaskan melalui elektrode busi untuk mengawali pembakaran.

- Fase pembentukan nyala (*flame development phase*).
Fase yang berawal dari sesaat setelah bunga api dicetuskan sampai suatu kondisi dimana sejumlah kecil massa gas di dalam silinder terbakar dan melepaskan kira-kira 10 % energi pembakaran.
- Fase perambatan nyala (*rapid burning phase*).
Merupakan fase setelah fase pembentukan nyala sampai akhir perambatan nyala. Biasanya 90% energi pembakaran sudah dilepaskan.
- Fase pemadaman nyala (*flame extinguishing phase*).
Merupakan fase yang mengakhiri proses pembakaran.

Sedangkan kecepatan perambatan nyala tergantung pada hal-hal sebagai berikut:

1. Rasio campuran udara-bahan bakar.
Laju pembakaran tercepat dicapai pada rasio ekuivalen (ϕ) = 1,1. Untuk campuran lebih kaya dari rasio tersebut maka kecepatan sedikit menurun. Pengaruh yang besar terjadi jika campuran lebih miskin dari rasio diatas, dimana kecepatan pembakaran menurun dengan drastis.
2. Rasio kompresi.
Kompresi rasio yang semakin tinggi akan meningkatkan kecepatan pembakaran.
3. Temperatur dan tekanan masuk (*intake*).
Peningkatan temperatur dan tekanan masuk dapat meningkatkan kecepatan pembakaran.
4. Turbulensi.
Turbulensi memegang peranan penting dalam proses pembakaran. Gerakan gas yang turbulen di dalam ruang bakar secara intensif meningkatkan laju proses pembakaran.
5. Kecepatan motor.
Naiknya putaran motor akan meningkatkan turbulensi sehingga kecepatan pembakaran akan naik.

2.3. Waktu Pengapian (*Ignition Timing*)

Untuk mendapatkan tenaga yang maksimal dari *engine* maka campuran udara-bahan bakar terkompresi harus memberikan tekanan yang maksimal pada awal langkah ekspansi, sehingga pembakaran harus dimulai sebelum piston mencapai *TDC* (*top death centre*). Hal ini dilakukan karena terjadi jeda (*time lag*) antara pencetusan bunga api (*spark*) dengan awal terjadinya pembakaran bahan bakar dan juga tergantung sifat pembakarannya (*combustion properties*) masing-masing bahan bakar mempunyai waktu tertentu untuk mengakhiri proses pembakaran. Akibatnya adalah tekanan maksimum tidak dapat dihasilkan pada saat volume ruang bakar minimum (*TDC*) sehingga muncul *time losses*.

Pengaturan waktu pengapian yang tepat merupakan hal yang penting karena masing-masing *engine* memiliki waktu pengapian optimal pada kondisi standarnya. Jika pencetusan bunga api terlalu cepat (*soon*) maka akhir pembakaran akan terjadi sebelum langkah kompresi selesai sehingga tekanan yang dihasilkan akan melawan arah gerakan piston yang berakibat pada penurunan tenaga yang dihasilkan, hal ini disebut *direct losses*. Dan sebaliknya jika pencetusan bunga api terlalu lambat (*late*) maka piston sudah melakukan langkah ekspansi sebelum terbentuk tekanan yang tinggi akibatnya tenaga yang dihasilkan tidak maksimal. Berikut ini adalah beberapa hal yang mempengaruhi waktu pengapian (*ignition timing*):

1. Kecepatan *engine*

Dengan naiknya kecepatan *engine* maka laju pembakaran akan naik sehingga waktu penyalaan harus lebih lambat.

2. Campuran bahan bakar-udara

Semakin kaya campuran bahan bakar udara maka pembakaran akan lebih cepat. Sehingga waktu penyalaan harus dilambatkan mendekati *TDC*.

3. Bagian beban operasi

Persentase beban operasi diatur dengan bukaan katup (*throttle*). Pada beban-beban sebagian waktu penyalaan harus dimajukan.

4. Tipe bahan bakar

Ignition delay akan bergantung jenis bahan bakar yang digunakan. Untuk mendapatkan tenaga yang maksimal maka pada bahan bakar dengan laju pembakaran yang lambat waktu pengapian harus dimajukan.

2.4. Karakteristik Bahan Bakar

Unjuk kerja dari mesin berpengapian busi (*SI Engine*) sangat dipengaruhi oleh bahan bakar yang diinjeksikan ke dalam ruang bakar mesin. Bahan bakar yang digunakan pada pengoperasian mesin berpengapian busi harus memenuhi beberapa karakteristik penting dari bahan bakar meliputi:

- Angka Oktan (*octane number*)
- Kemudahan menguap (*volatility*)
- Titik beku
- panas pembakaran persatuan massa dan volume
- titik nyala
- berat jenis
- keseimbangan kimia, kenetralan dan kebersihan
- keamanan

2.4.1. Angka Oktan (*Octane Number*)

Oktan adalah angka yang menunjukkan seberapa besar tekanan maksimum yang bias diberikan di dalam mesin sebelum bensin terbakar secara maksimum. Kualitas oktan etanol yang tinggi menunjukkan kemampuannya yang bagus dalam menghambat terjadinya *knocking* pada *engine*. Hal ini didukung oleh *autoignition temperature* etanol yang dua kali lebih tinggi, yaitu 423 °C dibandingkan dengan bensin yang hanya 257 °C. Artinya etanol mampu dipanaskan hingga temperatur yang lebih tinggi. Hasilnya adalah dengan bahan bakar etanol dimungkinkan untuk menggunakan *engine* dengan rasio kompresi yang lebih tinggi dibanding kendaraan bermotor yang berbahan bakar bensin sehingga akan memperbaiki efisiensi termis dan meningkatkan daya *engine*.

2.4.2. Kemudahan Menguap (*Volatility*)

Kemudahan menguap (*volatility*) menjadi salah satu pertimbangan penting dalam pemilihan bahan bakar karena berkenaan dengan pembentukan campuran

antara bahan bakar dan udara yang tepat di dalam karburator. Mudah tidaknya bahan bakar untuk menguap akan mempengaruhi performa *engine* karena ia menentukan kemudahan *starting*.

Sifat bahan bakar yang berhubungan erat dengan *volatility* adalah titik nyala (*flash point*). Titik nyala didefinisikan sebagai temperatur minimum cairan dimana pada temperatur tersebut cairan menghasilkan sejumlah uap yang dapat membentuk campuran dengan udara sehingga mampu terbakar. Hambatan penggunaan etanol sebagai bahan bakar adalah titik nyalanya yang tinggi, yaitu 13 °C sedangkan pada bensin -43 °C. Bensin memiliki titik nyala yang lebih rendah karena mengandung lebih banyak hidrokarbon dengan titik didih (*boiling point*) sangat rendah. Titik nyala yang tinggi akan menghambat penguapan dan menyebabkan *cold starting* yang sulit.

2.4.3. Titik Beku (*Freezing Point*)

Suhu pada saat bahan bakar mulai membeku disebut titik beku. Sifat ini sangat penting terutama pada bahan bakar pesawat terbang, mengingat kemungkinan penjelajahannya ke daerah-daerah dingin. Bila di dalam bahan bakar terdapat kadar aromatik yang cukup tinggi, maka pada suhu tertentu, aromatik-aromatik itu akan mengkristal sehingga saluran-saluran bahan bakar dapat tersumbat. Karena itu mesin-mesin yang bekerja di daerah dingin, titik beku bahan bakarnya harus rendah. Titik beku etanol adalah -114 °C sedangkan bensin pesawat terbang berada di sekitar -50°C^[1].

2.4.4. Kandungan Energi (*Energy Content*)

Semakin tinggi kandungan energi bahan bakar maka semakin besar daya yang dapat dihasilkan *engine*. Kandungan energi bahan bakar ditunjukkan oleh nilai kalornya (*lower heating value*). Nilai kalor etanol tidak lebih dari setengah nilai kalor bensin, yaitu 21,1 MJ/L dibanding 30-33 MJ/L sehingga untuk menghasilkan daya yang sama *engine* mengkonsumsi etanol satu setengah kali lebih banyak daripada konsumsi bensin. Hal tersebut dipengaruhi oleh adanya kandungan oksigen di dalam etanol.

Adanya kandungan oksigen dalam etanol tersebut menyebabkan stoichiometric AF ratio etanol satu setengah dari yang dimiliki bensin, yaitu 9 dibanding 14.7

Artinya untuk memproduksi sejumlah energi yang sama dibutuhkan etanol satu setengah kali lebih banyak tetapi mengkonsumsi sejumlah udara yang sama.

2.4.5. Panas Penguapan Laten (*Latent Heat of Vaporization*)

Panas penguapan laten etanol sekitar 3,4 kali lebih besar dibanding bensin dalam unit massa. Keuntungannya adalah panas penguapan laten yang tinggi dapat mendinginkan udara masukan (*intake air*) yang kemudian meningkatkan densitasnya sehingga memungkinkan lebih banyak volume udara masukan. Hal tersebut membentuk campuran bahan bakar-udara yang lebih miskin sehingga mengurangi kadar CO gas buangnya sebagai hasil pembakaran yang lebih sempurna. Panas penguapan laten yang tinggi juga dapat mendinginkan temperatur pembakaran sehingga menurunkan kecenderungan terjadinya *autoignition* serta mengurangi kadar NOx gas buangnya.

2.4.6. Berat Jenis (*Specific Gravity*)

Perbandingan berat sejumlah tertentu suatu zat terhadap berat air murni pada volume dan suhu yang sama, dinamakan berat jenis zat itu. Jika perbandingan berat sejumlah tertentu suatu zat dibandingkan dengan volume zat tersebut tanpa membandingkan dengan berat air murni dengan volume dan suhu yang sama disebut massa jenis.

Berat jenis atau massa jenis suatu zat terutama yang berwujud gas atau cair dipengaruhi oleh suhu atau temperatur zat tersebut. Semakin tinggi temperatur zat tersebut maka semakin rendah berat jenis atau massa jenis zat tersebut karena volume zat tersebut akan naik seiring dengan kenaikan temperatur zat tersebut. Demikian juga dengan penurunan temperatur suatu zat maka berat jenis atau massa jenis zat tersebut akan naik karena volume zat tersebut akan turun seiring dengan turunnya temperatur zat tersebut. Berat jenis etanol adalah 0.796 sedangkan bensin yang dipakai sebagai bahan bakar berkisar dari 0,69 s/d 0,79^[1].

2.4.7. Keausan dan Korosifitas

Tabel 2.1. Energi Alternatif^[2]

Fuel	Energy content kJ/L	Gasoline equivalence,* L/L-gasoline
Gasoline	31,850	1
Light diesel	33,170	0.96
Heavy diesel	35,800	0.89
LPG (Liquefied petroleum gas, primarily propane)	23,410	1.36
Ethanol (or ethyl alcohol)	29,420	1.08
Methanol (or methyl alcohol)	18,210	1.75
CNG (Compressed natural gas, primarily methane, at 200 atm)	8,080	3.94
LNG (Liquefied natural gas, primarily methane)	20,490	1.55

Jika menggunakan etanol murni sebagai bahan bakar akan rawan terjadi keausan pada dinding silinder dan ring piston. Oli yang melapisi *engine* dapat tersapu oleh cairan etanol selama cold starting sehingga menimbulkan kontak antarmaterial. Keausan juga dapat terjadi karena pembentukan asam format selama proses pembakaran yang langsung menyerang material sehingga menyebabkan korosi. Untuk mencegah atau mengurangi keausan material di atas maka dilakukan pelapisan dengan *chrome* atau dengan menambahkan bahan *additive*.

Tabel 2.2. Properti fisik dan kimia dari Bensin dan Etanol^[3]

Properti Bahan Bakar	Gasoline	Etanol	Metanol
Rumus molekul	C ₈ H ₁₅	C ₂ H ₅ OH	CH ₃ OH
SG	0,72	0,79	0,796
Stoichiometri A/F Ratio	14,5	9	6,45
Berat Molekul	100	46	32,04
RON	88 -100	108	108,7
MON	80 - 90	89,7	88,6
Komposisi Carbon % berat	84	52	37,5
Komposisi Hidrogen %berat	16	13	12,06
Komposisi Oksigen % berat	-	35	49,9
Low Heating Value MJ/kg	28	18	15,8
Laten Heat Vaporation KJ/kg	349	923	1178
Autoignition Temperature, C	257	423	464
Viscosity, mPa-s @ 38 0 C	0,37-0,44	1,19	0,59

2.5. Fuel Injection^[1]

Pada motor bakar empat langkah dalam berpengapian busi (*SI Engine*), pembentukan campuran udara bahan bakar yang siap terbakar dilakukan di luar ruang bakar melalui proses karburasi tetapi saat ini proses karburasi sudah banyak diganti dengan sistem injeksi. Dengan menggunakan *fuel injector* bagian terpenting dalam sistem induksi-aliran udara dan sejumlah bahan bakar dirubah menjadi atom-atom untuk menghasilkan campuran bahan bakar-udara yang homogen. *Fuel injector* adalah nosel yang menyembrotkan bahan bakar kedalam udara masuk pada mesin. Adapun pengaturan jumlah bahan bakar yang disemprotkan oleh injektor pada udara yang mengalir ini diatur dengan menggunakan sensor aliran udara (*air flow sensor*).

- Injektor diatur agar menyembrotkan bahan bakar pada udara yang berada dalam kondisi kuasi-statik yang berada di belakang katup masuk tepat sesaat sebelum katup masuk dibuka.
- Pertemuan antara bahan bakar dengan permukaan belakang katup yang relatif panas akan memperkuat evaporasi dan membantu mendinginkan katup itu sendiri.
- Tekanan injeksi biasanya berkisar antara 200 sampai 300 kPa absolut, namun dapat lebih tinggi lagi. Waktu injeksi berkisar antara 1,5 sampai 10 ms.
- Mobil pertama di Amerika Serikat yang menggunakan sistem injeksi bahan bakar adalah *Chevrolet Corvette* pada tahun 1957.



Gambar 2.2 Fuel Injector. ^[11]

Operasi dari mesin bensin sangat bergantung pada kualitas dan kuantitas campuran bahan bakar-udara yang diinjeksikan ke ruang bakar sehingga Fuel

injector harus mampu menghasilkan perbandingan bahan bakar–udara yang dibutuhkan pada semua putaran kerja mesin dan beban mesin secara otomatis.

2.6. Dinamometer

Pada dasarnya untuk mengukur tenaga mesin secara langsung belum bisa digunakan. Dua metode utama yang digunakan dalam industri mesin adalah : (1) Pengukuran pada *crankshaft* dari mesin, atau (2) *Roller road dynamometer* (pengukuran pada roda). Dinamometer adalah alat untuk mengukur daya mekanik (kecepatan dan torsi) yang dikeluarkan oleh mesin. Dinamometer menggunakan sensor untuk mengindikasikan kecepatan dan torsi.

Berikut ini pembiasaan mengenai perbedaan dari kedua metode di atas :

1. Dinamometer mesin

Jika kita ingin mengetahui tenaga dari mesin, maka kita menggunakan dinamometer yang dikhususkan untuk mesin. Ini menyerupai pada manufaktur *output shaft* dari mesin kendaraan. Mesin diletakkan pada dudukannya kemudian dihubungkan pada dynamometer, biasanya menggunakan *Propeler Shaft* (as kopel) yang dihubungkan pada bagian belakang dari poros engkol (atau pada roda gila). Hasil dari *power* yang diukur dengan cara ini umumnya disebut sebagai “*flywheel power*”. Dinamometer jenis ini membutuhkan pengereman (rem) dimana digunakan untuk mengetahui torsi (atau beban) dari mesin tersebut. Pada saat mesin ditahan pada kecepatan tetap dengan beban yang diberikan oleh dinamometer kemudian torsi yang telah diberikan oleh dinamometer harus dengan tepat menyamakan dengan torsi yang dihasilkan oleh mesin. Sebagai contoh, apabila kita ingin mengetahui torsi mesin pada saat wide open throttle (WOT) di rpm 4000. Throttle secara perlahan-lahan akan membuka dan pada saat yang bersamaan beban yang diberikan oleh dinamometer juga bertambah – kemungkinan dengan memainkan besaran dari beban yang diberikan kita mencapai keadaan dimana skep karburator dibuka penuh dan rpm tetap pada 3500. Torsi yang diberikan dicatat kemudian pengoperasian diulang pada interval lain seperti rpm 5000. Dengan meneruskan proses ini kita akan mendapatkan grafik torsi dari keseluruhan putaran mesin. Tentu saja kita juga bisa melakukan pengukuran dengan bukaan skep karburator yang tidak full bila diinginkan..Alat dinamometer yang modern

dikontrol oleh sistem komputer dan bisa menghasilkan kurva tenaga dan torsi dengan cepat dan seorang operatornya pun tidak perlu bersusah payah untuk mengatur throttle dan kontrol beban secara manual. Hal itu bisa diprogram untuk mengukur di setiap kelipatan rpm, sebagai contoh pada setiap penambahan 250 atau 500 rpm.

2. *Rolling Road Dynamometer (Chassis Dynamometer).*



Gambar 2.3 *Chassis Dynamometer*.^[4]

Rolling road dynamometer atau chassis dynamometer, dipergunakan untuk mengukur daya output mesin dengan mengetes kendaraan dalam bentuk seutuhnya, digunakan untuk mengetahui performa output, efisiensi energi maksimum dan tingkat kebisingan. Penggunaan *chassis dynamometer* terbatas untuk kendaraan berukuran sedang saja. *Chassis dynamometer* kini digunakan oleh manufaktur-manufaktur otomotif terkemuka dunia seperti *Daimler-chrysler, Renault, Volkswagen* dan lain-lain. Bagaimanapun juga, hal ini berarti gambaran power yang terbentuk akan lebih rendah dibandingkan dengan *flywheel power* karena adanya *frictional losses* pada transmisi dan ban.

Berikut ini akan dijelaskan cara kerja *rolling road dynamometer*:

Kendaraan dinaikkan keatas *chassis dyno* dan letakkan roda tepat di atas roller kemudian di ikat menggunakan strap. Beban pengereman dihasilkan oleh salah satu roller dengan menggunakan hidrolis (*water brake*) atau dengan sistem elektrik sama pada *engine dyno* yang mengaplikasikan torsi pada *crankshaft* dari mesin. Perhitungan umum yang sama, $BHP = \text{Torsi (ft/lbs)} \times \text{rpm} / 5252$, bisa

digunakan untuk menghitung bhp pada roller dengan mengetahui torsi dan rpm pada roller (bukan rpm pada mesin). Tapi bila rpm mesin diukur secara serentak atau bersamaan maka kita juga dapat mengetahui bhp di roller pada prm mesin utama

Masalah besar yang kita hadapi pada dinamometer tipe seperti ini adalah bila terjadinya slip pada ban. Kita ketahui bahwa permukaan dari roller adalah besi yang memiliki grip halus, dimana lama kelamaan akan menjadi licin. Kita bisa bayangkan perbedaan grip yang dihasilkan antara besi dibandingkan dengan permukaan aspal. Efek dari slipnya ban ini cukup kompleks sehingga grafik yang dihasilkan akan terlihat tidak bagus, namun hal ini bisa diminimalisir dengan menggunakan ban yang memiliki tapak permukaan yang lebar dan dengan tekanan ban yang tepat.

2.7. Parameter Unjuk Kerja Motor Pembakaran Dalam^[1].

Parameter unjuk kerja suatu motor pembakaran dalam berpengapian busi (*spark ignition engine*) adalah sebagai berikut:

2.7.1. Daya Poros Efektif, *bhp*

Tujuan utama dari penggunaan suatu *engine* adalah daya (*mechanical power*). Daya didefinisikan sebagai laju kerja dan sama dengan perkalian antara gaya dengan kecepatan linear atau torsi dengan kecepatan angular. Sehingga dalam pengukuran daya melibatkan pengukuran gaya atau torsi dan kecepatan. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan dinamometer dan *tachometer* atau alat lain dengan fungsi yang sama.

$$\text{Daya (Bhp)} = \frac{2\pi \cdot n \cdot T}{60.75} \text{ [HP]}.$$

2.7.2. Konsumsi Bahan Bakar Spesifik

Konsumsi bahan bakar spesifik (*specific fuel consumption*) didefinisikan sebagai jumlah bahan bakar yang dipakai untuk menghasilkan satu satuan daya dalam waktu satu jam dan dirumuskan sebagai :

$$\text{SFC} = \frac{FC}{BHP} \text{ [L/HP.h]}.$$

Dimana untuk FC dapat dirumuskan sebagai:

$$FC = \frac{V_f \times 3600}{t \times 1000} \text{ [L/h]}$$

2.7.3. Efisiensi Thermal, η_{th}

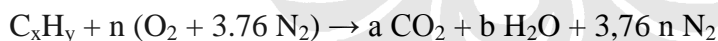
Effisiensi thermal merupakan rasio antara output *engine* terhadap energi kimia yang tersimpan di dalam bahan bakar. Sehingga efisiensi thermal merupakan ukuran besarnya pemanfaatan energi panas (*thermodynamic input*) bahan bakar untuk diubah menjadi daya efektif (*mechanical work*) oleh motor pembakaran dalam. Secara teoritis dituliskan dalam persamaan:

$$\eta_{th} = \frac{BHP}{FC \cdot Q_{HV} \rho_f} \times 632 \times 100 \text{ (\%)}$$

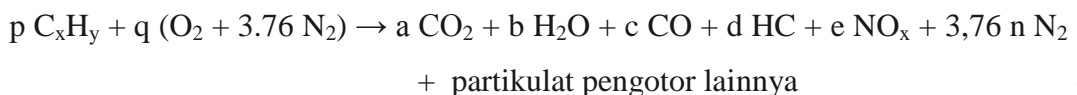
2.8. Pengukuran Gas Buang.

Proses pembakaran yang terjadi didalam ruang bakar merupakan serangkaian proses kimia yang melibatkan campuran bahan bakar berupa HC dengan oksigen. Proses pembakaran menghasilkan empat macam gas buang berupa CO₂, CO, NO_x dan HC. Keempat macam gas buang ini terbentuk pada proses pembakaran sempurna dan tidak sempurna.

Pada proses pembakaran sempurna, hasil pembakaran yang terbentuk adalah CO₂ dan H₂O. Proses pembakaran sempurna dapat dinyatakan dalam reaksi berikut:



Sedangkan proses pembakaran tidak sempurna menghasilkan gas buang berupa CO, NO_x, HC dan partikulat pengotor lainnya. Proses pembakaran tidak sempurna dapat dituliskan dalam reaksi sebagai berikut:



HC merupakan sisa bahan bakar yang tidak ikut terbakar. CO terbentuk akibat kurangnya kadar O₂ dalam proses pembakaran, sehingga yang terbentuk bukanlah CO₂ melainkan CO karena HC yang ada berikatan dengan O₂. NO_x terbentuk pada temperatur tinggi disaat campuran udara dengan bahan bakar berlebihan.

Gas *analyzer* merupakan rangkaian peralatan yang digunakan untuk mendeteksi keberadaan gas buang dalam bentuk CO_2 , CO , NO_x dan HC dan juga kadar O_2 yang ikut terbuang. Metode yang umum digunakan dalam proses pendeteksian keberadaan gas buang adalah melalui metode ionisasi. Hasil keluaran gas *analyzer* berupa konsentrasi gas-gas CO_2 , CO , NO_x , O_2 dan HC . Dari hasil yang didapatkan, ternyata terdapat korelasi antara rasio A/F dengan konsentrasi keluaran gas-gas tersebut.

Pertimbangan pengujian suatu *engine* ditentukan oleh unjuk kerja *engine* dan kadar emisi gas buang hasil pembakaran. Unjuk kerja menjadi penting karena berkaitan dengan tujuan penggunaan *engine* dan faktor ekonomisnya sedangkan tinggi rendahnya emisi gas buang berhubungan dengan faktor lingkungan.

Unjuk kerja suatu *engine* sangat tergantung pada energi yang dihasilkan dari campuran bahan bakar yang diterima oleh *engine* dan efisiensi termis dari *engine* tersebut (kemampuan *engine* untuk mengubah energi kimia bahan bakar menjadi kerja efektif dari *engine*).

Bahan bakar bensin mengandung campuran dari beberapa hidrokarbon dan jika terbakar secara sempurna, pada gas buang hanya akan mengandung karbon dioksida (CO_2) dan uap air (H_2O) serta udara yang tidak ikut dalam proses pembakaran. Namun untuk beberapa alasan, pembakaran yang terjadi adalah tidak sempurna dan akan menghasilkan karbon monoksida (CO), gas beracun yang mematikan dan hidrokarbon yang tidak terbakar (*Unburned Hydrocarbon, UBHC*) pada gas buang. Disamping CO dan HC , emisi utama yang ketiga adalah oksida dari nitrogen (NO_x) yang terbentuk oleh reaksi antara nitrogen dengan oksigen karena temperatur pembakaran yang tinggi, yaitu lebih dari 1100°C ^[1].

2.9. Emisi Gas Buang Motor Bensin

Bahan bakar bensin mengandung campuran dari beberapa hidrokarbon dan jika terbakar secara sempurna, pada gas buang hanya akan mengandung karbon dioksida (CO_2) dan uap air (H_2O) serta udara yang tidak ikut dalam proses pembakaran. Namun untuk beberapa alasan, pembakaran yang terjadi adalah tidak sempurna dan akan menghasilkan karbon monoksida (CO), gas beracun yang mematikan dan hidrokarbon yang tidak terbakar (*Unburned Hydrocarbon, UBHC*)

pada gas buang. Disamping CO dan HC, emisi utama yang ketiga adalah oksida dari nitrogen (NO_x) yang terbentuk oleh reaksi antara nitrogen dengan oksigen karena temperatur pembakaran yang tinggi, yaitu lebih dari 1100°C .

2.9.1. Karbon Monoksida, CO

Karbon monoksida merupakan gas yang tidak berwarna dan tidak berbau dan gas beracun. Gas ini timbul pada saat kondisi campuran di dalam mesin kaya. Dimana tidak tersedianya cukup oksigen untuk membentuk CO menjadi CO_2 , sehingga beberapa carbon berakhir menjadi CO. Biasanya untuk mesin bensin kadarnya 0,2% - 0,5%. Kekuatannya berikatan dengan *hemoglobin* di dalam darah sangat lebih kuat daripada oksigen. Bahkan konsentrasi yang rendah pun dapat menyebabkan terjadinya *sufokasi*. Konsentrasi di dalam udara maksimal yang diijinkan adalah 33 mg/m^3 .

Jumlah oksigen dalam campuran (*A/F ratio*) juga sangat menentukan besar CO yang dihasilkan, mengingat kurangnya oksigen dalam campuran akan mengakibatkan karbon bereaksi tidak sempurna dengan oksigen (sehingga terbentuk CO). Carbon monoksida juga cenderung timbul pada temperatur pembakaran yang tinggi. Meskipun pada campuran miskin (mempunyai cukup oksigen) jika temperatur pembakaran terlalu tinggi, maka oksigen yang telah terbentuk dalam karbon dioksida bisa berdisosiasi (melepaskan diri) membentuk carbon monoksida dan oksigen.

2.9.2. Hidrokarbon, HC^[5]

Gas buang hidrokarbon yang dihasilkan pada *SI engine* mencapai 6000 ppm, komposisinya setara dengan 1-1,5 % bahan bakar. Pembentukan gas buang HC dipengaruhi oleh komposisi bahan bakar, geometri dari ruang bakar, dan parameter operasi mesin. Gas buang hidrokarbon dapat menyebabkan iritasi dan kanker.

2.9.3. Nitrogen Oxide, NO_x ^[5]

Gas buang NO_x yang dihasilkan *engine* dapat mencapai 2000 ppm. NO_x merupakan gas buang yang tidak diinginkan dikarenakan NO_x bereaksi pada atmosfer dan merupakan salah satu penyebab *photochemical smog*.

Nitrogen pada atmosfer merupakan struktur diatomic yang stabil pada temperatur rendah. Akan tetapi pada temperatur tinggi ($2500\text{-}3000\text{ K}$) yang terjadi

pada ruang bakar, sejumlah N_2 berubah menjadi $2N$, setelah itu bereaksi dengan O_2 sehingga membentuk NO_2 . Gas NO_2 yang keluar dari exhaust kendaraan akan bereaksi dengan sinar matahari dan menghasilkan $NO + O + \text{smog}$, monoatomik oksigen (O) akan bereaksi dengan O_2 menghasilkan O_3 (ozon), terbantuknya ozon pada permukaan bumi dapat menyebabkan radang paru-paru, dan juga berbahaya untuk tanaman.

